

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 07128133 A

(43) Date of publication of application: 19.05.95

(51) Int. Cl

G01H 17/00

(21) Application number: 05271580

(71) Applicant: HITACHI LTD

(22) Date of filing: 29.10.93

(72) Inventor: SATO KAZUO  
TAKAZUMI MASAKAZU  
TORITANI HAJIME

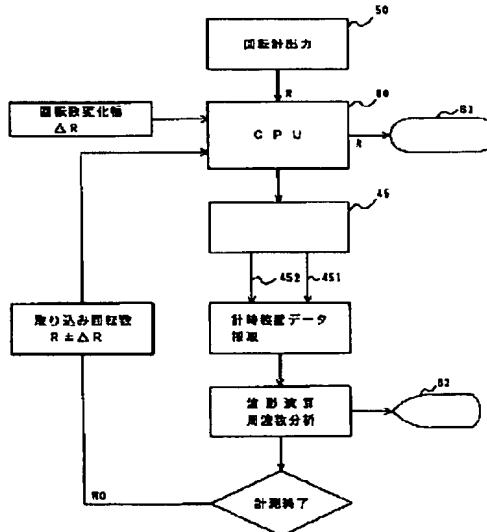
(54) METHOD AND APPARATUS FOR MEASURING  
VIBRATION OF ROTARY WING

COPYRIGHT: (C)1995,JPO

(57) Abstract:

PURPOSE: To perform an automatic vibrating frequency analysis of a partial vibration waveform in which a vibration waveform is not continuous vibration waveform in a rotating period and to improve a function of a wind vibration measurement.

CONSTITUTION: The method for measuring a vibration of a rotary wing comprises the steps of inputting an output of a tachometer 50 to a CPU 60, operating a relay contact 45 in a predetermined small range of speed variation, automating collection of data, calculating a vibration waveform by the CPU 60 from obtained time data, then identifying whether the waveform is a partial vibration waveform or not, and analyzing a vibration frequency of the partial waveform. In the case of the partial waveform, vibrating frequency information in the rotation change is automatically obtained, a measuring function of a wing vibration is improved, and an online monitoring function by a Campbell's diagram, etc., is improved.



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-128133

(43)公開日 平成7年(1995)5月19日

(51)Int.Cl.<sup>8</sup>  
G 0 1 H 17/00

識別記号 序内整理番号  
A 8117-2G

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全8頁)

(21)出願番号 特願平5-271580

(22)出願日 平成5年(1993)10月29日

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所  
東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 佐藤 一男

茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日立製作所機械研究所内

(72)発明者 高住 正和

茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日立製作所機械研究所内

(72)発明者 烏谷 初

茨城県日立市幸町三丁目1番1号 株式会社日立製作所日立工場内

(74)代理人 弁理士 小川 勝男

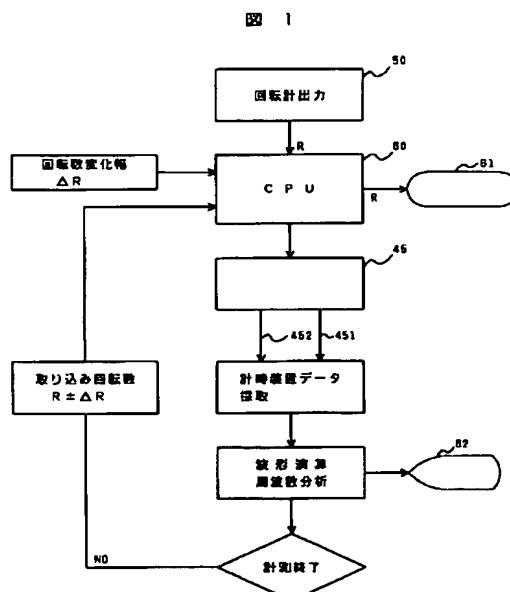
(54)【発明の名称】回転翼の振動計測方法及び装置

(57)【要約】

【目的】振動波形が回転周期内の連続した振動波形でない部分振動波形の自動的な振動周波数分析を可能にし、翼振動計測の機能を向上させること。

【構成】回転計50の出力をCPU60に入力し、あらかじめ設定した微小な回転数変化幅でリレー接点45を作動させデータ採取を自動化するとともに、得られた時間データからCPU60によって振動波形を演算後、振動波形が部分振動波形かどうかを識別し、部分振動波形の振動周波数分析工程を設ける。

【効果】部分振動波形の場合でも回転変化中の振動数情報が自動的に得られ、翼振動の計測機能が向上すると共に、キャンベル線図等によるオンラインの監視機能が向上する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】回転可能に支持された回転車盤と前記回転車盤に支持された複数の動翼とを有する回転翼車、前記回転翼車を収納するケーシング上に設置され前記動翼の先端部を非接触に検出する複数個の非接触検出器、前記回転翼車の既知の位置に設けた基準位置マークを検出すする基準位置検出器とを備え、前記回転翼車が回転し、前記非接触検出器が前記動翼の先端部を検出したとき動翼パルス列を発生させるとともに、前記基準位置検出器が前記回転翼車の基準位置マークを検出したとき回転基準パルス列を発生させ、この回転基準パルス列を基準として前記非接触検出器ごとの前記動翼パルス列の発生時間データを求め、基準回転数における前記時間データとの時間差データを求め、前記時間差データを振動変位データに変換し、前記複数の非接触検出器ごとの前記振動変位データの中から特定の動翼のデータを抽出することにより、前記各動翼の振動波形を得るものにおいて、回転周期内の連続した振動波形でない部分振動波形の周波数分析を自動的に行うようにしたことを特徴とする回転翼の振動計測方法。

【請求項2】回転周期を一周期とするフーリエ変換による周波数分析結果を基に、回転周期と部分振動波形周期との比より、前記部分振動波形の振動数を自動的に決定することを特徴とする請求項1記載の回転翼の振動計測方法。

【請求項3】回転可能に支持された回転車盤と前記回転車盤に支持された複数の動翼とを有する回転翼車、前記回転翼車を収納するケーシング上に設置され、前記動翼の先端に光を照射するとともに前記回転翼車が回転して前記動翼からの反射光を検出したとき動翼パルス列を発生する複数個の非接触検出器、前記複数個の非接触検出器に光を供給する光源、前記回転車盤の既知の位置に設けた基準位置マークを検出したとき回転基準パルス列を発生する基準位置検出器、前記非接触検出器の出力を電気信号に変換する光電変換器、前記翼車の各動翼について前記非接触検出器ごとの動翼パルス列を得る手段、前記回転基準パルスを基準として前記動翼パルス列の発生時間及び回転基準パルスの時間データを計測する計時装置、前記動翼パルス時間データ及び回転基準パルス時間データを記憶する記憶装置、前記時間データから動翼ごとの変位の振動波形を計算する中央演算装置、前記振動波形より得られる振動データを表示する手段とを具備するものにおいて、振動波形が回転周期内の連続した振動波形でない部分振動波形の周波数分析を自動的に行う手段を有することを特徴とする回転翼の振動計測装置。

【請求項4】部分振動波形の周波数分析手段は回転周期を一周期とするフーリエ変換結果を基に、回転周期と部分振動波形周期との比より振動数を自動的に決定する手段を有することを特徴とする請求項3記載の回転翼の振動計測装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、回転翼車を有する回転機械の動翼振動を非接触で計測する方法及び装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】圧縮機、タービン、ファン等の回転中における動翼の振動を計測し、その発生状況及び振動による発生応力等を確認することは、その信頼性確保のため極めて重要である。最近のタービン、圧縮機等の回転機械は高速、高圧、高温化の傾向にあり、信頼性確保の要求は一層高まっておりその翼の振動計測の必要性は一層高まっている。

【0003】従来、この目的のため翼にひずみゲージを貼付けし、回転中の翼の振動をスリップリングあるいはテレメータで外部に取り出す方法が知られている。また、この方法が困難な場合の回転翼の振動計測方法として、特公平1-56694号公報及び1983-トウキョウアイジーティシー123(1983-TOKYO-International Gas Turbine Congress-123)の第953頁～960頁に記載された方法が提案されている。これらの方法は回転翼を収容するケーシング上に配置した多数の光学式非接触検出器により得られる動翼の時間データから、動翼の振動による時間差を求める、これらを基に各動翼の変位の振動波形を得ている。これらの方法は振動波形が得られるので、振動振幅のみならず振動周波数も得られるという利点がある。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、多数の非接触検出器の動翼パルスの時間データから振動波形を得るようにした動翼振動の計測において、振動波形が回転周期内の連続した振動波形でない部分振動波形の場合は、通常のフーリエ変換による周波数分析が困難であるという問題点を解決し、回転変化中の部分振動波形の自動的な振動周波数分析が可能な、非接触検出器による回転動翼の振動計測方法及び装置を提供することである。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】上記目的は、複数の非接触検出器による翼パルスの時間データより得られる振動波形が部分振動波形かどうかを識別し、部分振動波形である場合の振動周波数の分析手段を講ずることにより達成される。すなわち、部分振動波形は部分振動波形周期以外の回転周期内の波形データを補完することにより、フーリエ変換による周波数分析が可能となるが、このままでは得られた振動数が実際より一定比で低くなることに着目し、回転周期と部分振動波形周期との比よりこれを補正する手段を設けることにより達成される。

## 【0006】

【作用】本発明によれば、回転速度の上昇あるいは、下

降中の部分振動波形の周波数分析が可能となる。こうした作用に基づいて、プローブをケーシングの全周に配置できない場合でも翼振動の振幅及び振動周波数の情報を自動的に測定可能という効果を達成することがきる。

### 【0007】

【実施例】本発明の実施例を図を用いて詳細に説明する。図1は本発明の回転翼の振動計測装置実施例におけるデータ採取の流れを示すブロック図である。本発明の回転翼の振動計測装置はオンライン時の計測を容易にするため、振動データ採取を自動的に行うようにしている。図1を用いてさらに詳細に説明すると、回転数上昇時及び下降時の計測回転数変化中、回転数変化幅 $\Delta R$ 及び計測回転回数は中央演算装置（以下CPUと略称する）に予め記憶されている。回転計50の出力回転数RもCPU60に直接入力されるようになっており、計測開始後この回転数が計測回転数に達するとCPU60は計時装置40内の接点入力のスタート端子451を作動させる。必要回転数の計時データを採取すると接点入力のストップ端子452を作動させ、計測回転数Rでのデータ採取を終了する。採取された計時データはCPU60で振動波形演算及び前記振動波形の周波数分析処理され、CRT62等に表示される。計測終了の状態でなければ速度上昇時は+の方向へ、速度下降時は-の方向へ $\Delta R$ 以上変化したときの、回転計のデータ取り込み指示回転数を計測回転数として上記したデータの採取を自動的に繰り返す。計測開始及び計測終了の判断は、予めCPU60に記憶させた計測開始回転数 $R_S$ 及び計測終了回転数 $R_E$ に基づいて、CPU60により行う。ただしこの計測開始回転数 $R_S$ と計測終了回転数 $R_E$ の値あるいはある特定の計測回転数Rは、適宜手動でCPU60に入力することもできる。ただし、この場合は回転数の変化に対する振動データの採取は必ずしも自動的ではなくなるが、前記手動入力の計測回転数における振動波形の演算及びその周波数分析は自動的に行われる。なお、計測回転数Rは前記計時データと共に外部記憶装置61に記憶される。

【0008】図2は本発明の一実施例を示す回転翼の振動計測装置を示す。図2において、回転翼車10は、軸11に回転可能に支持された回転車盤101と、この回転車盤上に支持された複数の動翼12とからなっている。振動の発生しない回転車盤101の根元部には、動翼12の回転に応じて基準パルスを発生させるための回転基準マーク13が設けられている。回転翼車10を収納するケーシング14上には、前記翼12の先端部が所定位置に到達したとき動翼パルス列を発生する複数の第一の非接触検出器211～216が設けられている。各々の非接触検出器は、各動翼が対抗位置に来るごとに動翼の先端を検出し、動翼パルス列を発生する。従って、各非接触検出器の発生するパルスは動翼のピッチ角度だけ遅れたパルス列となる。

【0009】検出器22は回転基準マーク13が所定位に到達したとき、回転基準パルス列を発生する。光ファイバーケーブル24は光源30からの光を分岐部23を経て第一の非接触検出器211～216へ導き、動翼12の先端部へ照射する。動翼12からの反射光は再び光ファイバーケーブル24を経由して光電変換器31へ導かれる。計時装置40は、波形整形部41、計数記憶部42、制御部43、インタフェイス44、接点入力端子45から構成されている。回転計50は波形整形部4

10 1の回転基準パルスの出力に応じて計測時の回転翼車10の回転数を算出し、CPU60へ入力する。CPU60には記憶装置61、CRTディスプレイ62及びプリンタプロッタ63が接続されている。

【0010】複数の第一の非接触検出器211～216は、ケーシング14上の円周方向に所定の間隔で設置されており、光源30より光ファイバーケーブル24及び分岐23を経て光が供給され、動翼12の先端部を照射する。光源30には例えばレーザーダイオードが採用され、複数個の非接触検出器211～216の個々に光を供給するようになっている。この状態で回転翼車10が回転し、動翼12の先端が非接触検出器211～216の検出部分を通過すると、動翼毎に反射光が発生し、この反射光は再び光ファイバーケーブル24を通して光電変換装置31に導かれ、光電変換素子により電気信号に変換され、電気信号パルスとして取り出される。この動翼パルスは計時装置40内の波形整形部41のコンパレータで波形整形された後、矩形波の動翼パルスデータとして計装記憶部42に導かれる。計数記憶部42には計時クロックパルス発生装置と記憶素子（RAM）が内蔵されており、計測開始後最初の回転基準パルスを基準として、前記各動翼パルス発生までのクロックパルス数が、各非接触検出器211～216毎に計数記憶部42で時間データとして記憶される。

【0011】図3はこの状況を示す説明図である。回転基準パルス（A）は、回転基準マーク13が回転検出器22によって検知されることによって発生した一回転一回のパルス信号を光ファイバーケーブル24、光電変換器31を経て計時装置40内の波形整形部41で矩形波に整形したものである。動翼パルス列（B）は前述のように非接触検出器211～216の信号よりえられた動翼パルスデータの例を示す。パルス計時出力（C）は、回転基準パルスを基準として計数記憶部42で計測された各動翼パルスまでのクロックのパルス数P1、P2、P3……を示す。これらの値が動翼パルスクロックデータとして計数記憶部42のRAM上に記憶される。

（D）を参照。回転基準パルスの計時出力Q1、Q2、……も同様に計数記憶部42の回転基準パルス用RAM上に記憶される。（E）を参照。パルス計時出力（C）は、計測回転数の2回転分を示しているが、この回転回数は予め設定された値に従い制御部43により制御され

る。また、実施例ではこのクロックパルス計時出力の最大値は $2^{16}-1$  (65535) となっているが、これはCPU60に16ビット機を採用しているためである。高速化等のためよりビット数の大きいCPUを採用してもよい。

【0012】図2において、計数記憶部42に記憶された前記動翼クロックパルスデータ及び回転基準クロックパルスデータは、制御部43、インターフェイス44を介してCPU60に転送され、振動波形とその周波数成分を得るために演算、処理が施される。これらの振動データはオンラインあるいはオフラインでCRT62、プリンタプロッタ63に出力、表示される。なお、オンライン処理終了後、前記動翼クロックパルスデータ及び回転基準クロックパルスデータは外部記憶装置61に記憶される。

\*

$$\Delta t = t - \frac{R_0}{R} \cdot t'$$

【0015】これを図4の検出器1及び検出器2の動翼番号1の場合で示すと、それぞれ $\Delta t_1$ 、 $\Delta t_2$ のようになる。 $t_1$ 、 $t_2$ は振動計測回転時の動翼1の時間データ、すなわち動翼がそれぞれ検出器1及び検出器2に到達するまでの時間である。この時間差 $\Delta t$ は翼が振動したことによって生じたものである。続いて図5の工程(I※

$$\delta = U \cdot \Delta t = \frac{\pi D R}{60} \cdot \Delta t$$

【0017】ただし式(2)で表される変位は円周方向の変位である。式(2)による変位データはすべての非接触検出器毎に対象とする全動翼について得られるので、図5の工程(IV)でこれらのデータの中から各動翼毎のデータを抽出する。例えば図4の動翼1について示すと、検出器1のデータからは $\Delta t_1$ に相当する変位データ $\delta_1$ を、検出器2のデータからは $\Delta t_2$ に相当する変位データ $\delta_2$ を抽出することを意味する。最後にすべての検出器の変位データを時系列的に揃え、各変位データの点を直線で結べば振動波形が得られる。これは図5の工程(V)である。

【0018】図6は前記方法により求めた3回転分の部分振動波形を示す。図6で横軸は時間を表しTは回転周期、 $T'$ は部分振動波形周期を示す。本発明はこのような部分振動波形を直接の対象とするもので、その発生状況を図7のプローブ配置図によりさらに説明する。図7はプローブピッチ角度 $10^\circ$ で12ヶのプローブが配置された場合で、プローブ全体の円周方向の分布角度は $110^\circ$ である。一回転のうち各プローブは自身のプローブを通過するときにのみ振動波形のデータとなる翼パルスを発生させるので、プローブ分布角に相当する範囲でしか振動波形データは得られない。すなわち図6で振動★

$$\alpha = \frac{T}{T'}$$

【0021】図8は本発明になる振動計測法の実施例を

\* 【0013】次にCPU60により計時データから振動波形を得る方法について詳述する。まず、振動波形の計測手順を図4及び図5により説明する。初めに振動が無いと見なされる基準回転数 $R_0$ で図4実線で示すような動翼クロックパルスデータを測定し、次に計測回転数Rで図4点線で示すような動翼クロックパルスデータを測定し、これらのデータにクロックの周期を乗じて時間データを得る。これが図5の工程(I)である。次に図5の工程(II)で振動計測回転時と基準回転時との前記時間データの時間差 $\Delta t$ を求める。基準回転時の時間データを $t'$ 、振動計測時の時間データを $t$ とすると、両者の回転数の違いを考慮して時間差 $\Delta t$ は式(1)より求まる。

【0014】

【数1】

… (1)

※II) で時間差データを変位データに変換する。計測回転数での動翼先端の周速と翼先端のピッチ円直径をそれぞれU及びDとすると、振動変位は式(2)で計算される。

【0016】

【数2】

… (2)

★波形データは、回転周期Tに対して図7のプローブ分布角に相当する周期 $T'$ の間でしか得られない。従って振動波形は回転に対して連続的な波形とはならず部分的な波形となる。プローブ分布角を $360^\circ$ すなわち全周に設定できればよいが、ケーシング14の物理的制約のためにその一部分にしか配置できず、結果的に部分振動波形しか得られない場合が多い。

【0019】振動波形よりの振動数情報としてフーリエ変換による周波数分析等によって回転周波数成分とその高調波成分を得ることが有用であるが、前記部分振動波形の場合一回転分のデータがないのでその周波数分析を行うことができない。しかし、回転周期T内の部分振動波形の不足データをサンプリング間隔(プローブピッチ間隔)が部分振動波形の部分と同じく値は0としてこれを補い、回転周期Tを一周期として離散的フーリエ変換(以下DFTと略称する)後、得られた振動周波数を補正すればよいことが分かった。すなわちDFT後の振動周波数は回転周期Tに関連して実際より低くなっているので、その振動周波数に次式(3)の係数 $\alpha$ を乗ずれば正しい振動周波数が得られる。

【0020】

【数3】

… (3)

示し、回転計のデータ取り込み指示回転数を計測回転数

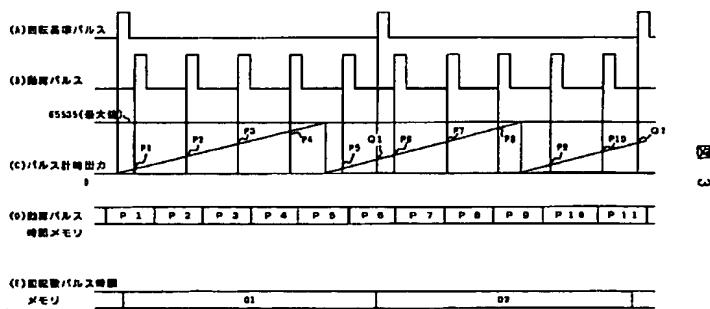
として、前記工程(V)により振動波形を計算した後に、部分振動波形の周波数分析工程(VI)が含まれている。図9により工程VIの部分振動波形の周波数分析方法をさらに詳細に説明する。まず工程VI-1で前記工程(V)で得られた振動波形が部分振動波形かどうかを識別する。これは図7に示したようなプローブ分布角度が $360^\circ$ 以下であるかどうかプローブピッチ角及びプローブ数の入力値から判定する。次に工程VI-2で部分振動波形のデータ不足分を補い一回転の全体波形を仮定する。これは前述のように回転周期T内の不足分のデータは、サンプリング間隔が部分振動波形のサンプリング間隔(プローブピッチ角)と同じで値は0とする。工程VI-3でこの全体波形について回転周期Tを一周期としてDFTを行う。最後に工程VI-4でDFT結果の振動数に式(3)を乗じてこれを補正し、正しい振動周波数成分を得る。

【0022】次に、本発明の実施例における回転翼振動の計測例を示す。図10がその例で図7のようなプローブ配置による部分振動波形を回転数を変えながらオンラインで計測し、周波数分析した結果をキャンベル線図で表示させたものである。図10の円の大きさは振幅の大きさを表しているが、図中振幅の大きい共振点を結んだ曲線はこの動翼の固有振動数ラインを示す。この固有振動数の値は計算値と一致した。キャンベル線図は翼の振動特性を表すのに最もよく用いられるものである。本発明により部分振動波形の場合でもこのようにキャンベル線図によるオンライン表示が可能となり、翼振動の計測と監視の機能が向上する。

#### 【0023】

【発明の効果】以上詳述したように本発明の回転翼振動計測方法及び装置によれば、回転速度の上昇あるいは下降中の部分振動波形の周波数分析を可能にしたので、

【図3】



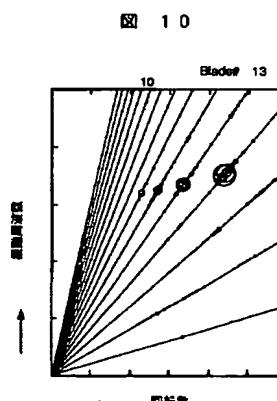
【図10】

12…動翼、13…回転基準マーク、30…光源、40…計時装置、50…回転計、60…中央演算装置、61…外部記憶装置、101…回転車盤、211～216…非接触検出器。

#### 【符号の説明】

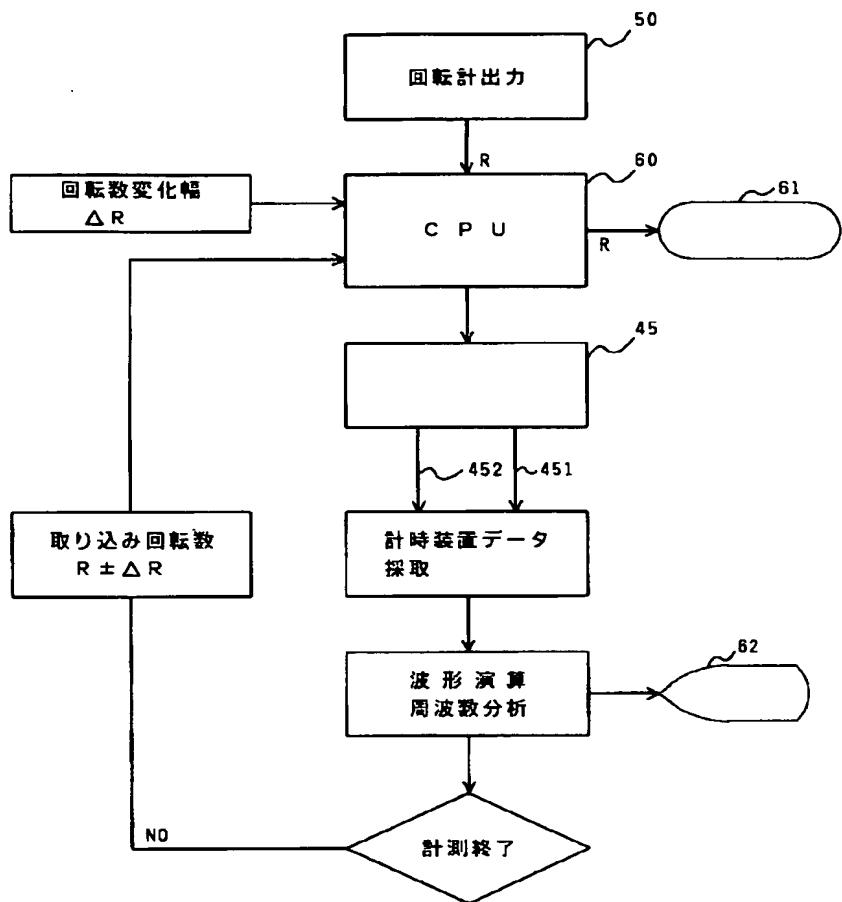
12…動翼、13…回転基準マーク、30…光源、40…計時装置、50…回転計、60…中央演算装置、61…外部記憶装置、101…回転車盤、211～216…非接触検出器。

#### 【図10】



【図1】

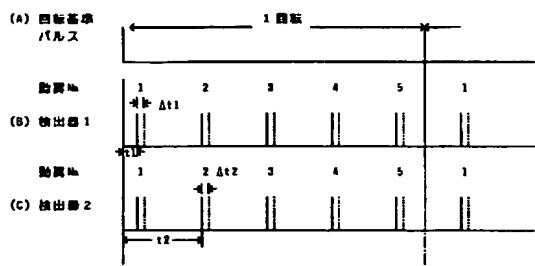
1



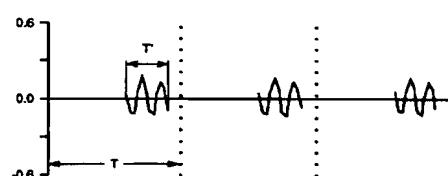
### 【図4】

[図6]

4



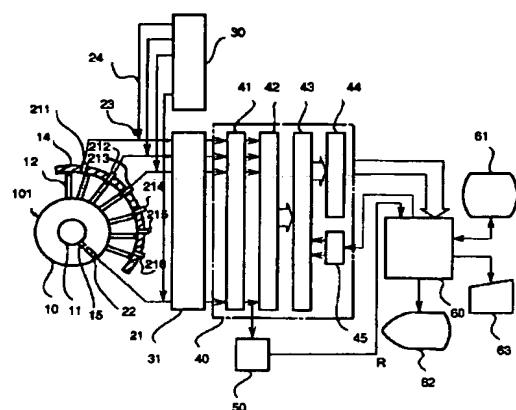
6



[図2]

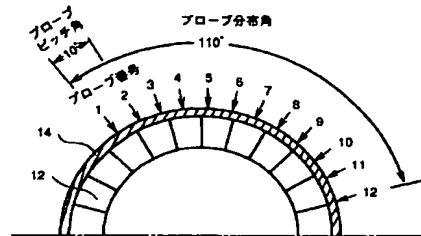
【図7】

2



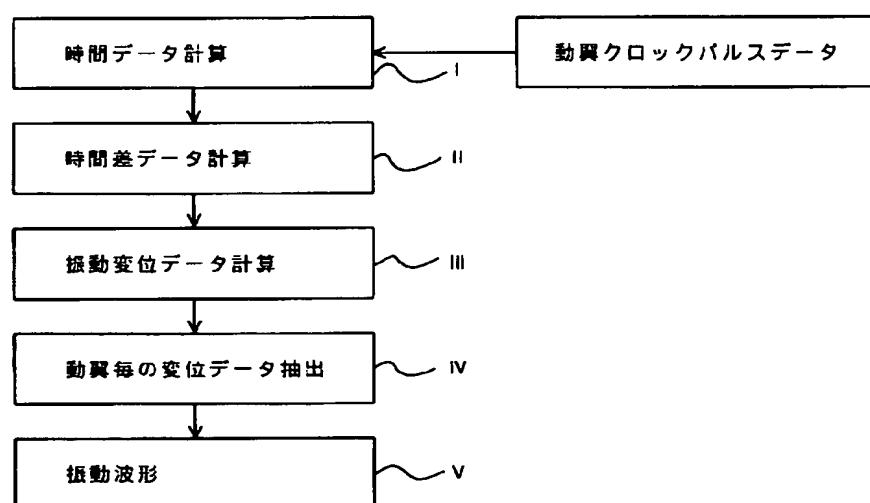
12 … 電算 13 … 固定基準マーク 40 … 計時装置  
50 … 目眩計 60 … 中央清涼装置 61 … 外部記憶装置  
101 … 固定車體 211~216 … 安全接触検出器

7



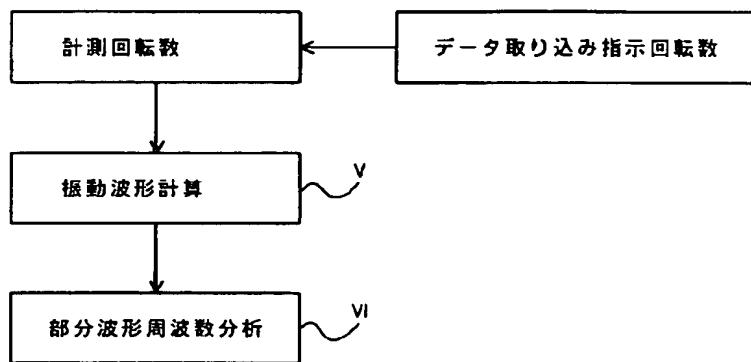
(図5)

5



【図8】

図 8



【図9】

図 9

